

XVI ERIAC
DECIMOSEXTO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

17 al 21 de mayo de 2015



A1-08

Comité de Estudio A1 - Máquinas Eléctricas Rotativas

EXPERIÊNCIA NA MONITORAÇÃO ON-LINE DE DESCARGAS PARCIAIS PARA AVALIAÇÃO DA ISOLAÇÃO ELÉTRICA DOS ENROLAMENTOS ESTATÓRICOS DE HIDROGERADORES

F. S. BRASIL*	**P. M. VILHENA**	**D. S. CARVALHO**
Eletronorte	**Eletronorte**	**Eletronorte**
Brasil	**Brasil**	**Brasil**
J.S. SILVA	**A. T. CARVALHO**	**H. P. AMORIM**
Eletronorte	**CEPEL**	**CEPEL**
Brasil	**Brasil**	**Brasil**

Resumo *– A monitoração de descargas parciais em hidrogeradores é uma técnica consagrada para fins de avaliação de desempenho elétrico do seu sistema isolante. Quaisquer imperfeições construtivas, quer sejam devidas ao projeto ou ao processo de montagem, podem ser detectadas por meio do ensaio de descargas parciais. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo geral apresentar os principais resultados da monitoração online de descargas parciais instalado na Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes no Estado do Amapá.*

Palabras clave: Monitoração On-Line, Descargas Parciais, Hidrogeradores

1 INTRODUÇÃO

Inaugurada na década de 1970, a UHE Coaracy Nunes foi construída no Rio Araguary, município de Ferreira Gomes (Amapá, Brasil), e previa originalmente duas unidades geradoras projetadas para gerar 20 MW cada uma. Posteriormente este potencial foi aumentado com a inserção de mais uma unidade geradora de 30 MW e a repotenciação das unidades de 20 MW para 24 MW cada, passando a somar 78 MW.

No modelo atual do setor elétrico a manutenção preditiva tornou-se grande ferramenta para as concessionárias de energia elétrica na gestão dos seus ativos de produção, pois está cada vez mais difícil desligar um equipamento para realizar manutenção, as concessionárias devem arcar com energia elétrica disponível para atender as demandas da sociedade. Neste modelo os desligamentos devem ser realizados de maneira programada de forma a eliminar ou minimizar as perdas, a realização de manutenção preditiva, minimizando as preventivas, busca migrar da condição de manutenção baseada no tempo para a manutenção baseada nas condições do equipamento [1].

Paradas de máquinas não planejadas devido à falta de confiabilidade e falhas de equipamentos fizeram com que os mantenedores dessem um passo fundamental na estratégia de manutenção de geradores, a fim de solucionar esse problema, vários pesquisadores e estudiosos da área de grandes máquinas rotativas descobriram que estas falhas, na grande maioria das vezes, estavam relacionadas com o aumento do nível de descargas parciais (DPs) da isolação elétrica da máquina. A ocorrência das DPs nos sistemas isolante dos equipamentos de alta tensão é um sintoma de fragilidade na sua suportabilidade dielétrica e cuja evolução pode vir a acarretar graves consequências para o equipamento [1].

Pelo exposto, justifica-se a necessidade de se monitorar o fenômeno das DPs que ocorrem nos enrolamentos do estator de máquinas rotativas, que na maioria das vezes são sintomas de defeitos elétricos e

* Contato: fernando.brasil@eletronorte.gov.br

antecipações de falhas, que são originadas por diversas causas. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo geral apresentar os principais resultados da monitoração online de descargas parciais instalado na Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes.

Desde 2009 vem se trabalhando no sentido de se implantar a monitoração de DPs nas unidades geradoras desta usina, os primeiros trabalhos tiveram início através de medições esporádicas realizadas em conjunto com Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Eletrobrás Cepel até a instalação definitiva em todas as máquinas, em 2013, de todo o sistema de monitoração de DPs, ou seja, acopladores capacitivos, cabos coaxiais, impedância de medição e computador industrial, o software utilizado para medição foi o IMA-DP, desenvolvido em parceria Eletronorte e Cepel.

Uma falha no isolamento do estator é um caminho de baixa impedância entre os condutores que devem ser isolados uns dos outros, tais como entre espiras, barras, fases ou entre fase e núcleo. Esta seção indica o potencial da manutenção preditiva no isolamento do estator e lista alguns modos comuns de falha. Mais detalhes serão apresentados em capítulos posteriores sobre o processo de descargas parciais no isolamento do estator.

De acordo com [02] existem duas formas de classificar as falhas em máquinas rotativas de alta tensão, uma é a condição em que a máquina foi encontrada após a falha; a outra é pela suspeita da causa raiz que originou a falha. Estudar a causa raiz pode ser muito mais interessante, mas para fins de diagnóstico o mais importante é se o desenvolvimento da falha seria previsível a partir do componente estudado. A distribuição das falhas e causas sobre os componentes varia entre os diferentes tipos de máquinas, porém uma indicação aproximada é apresentada a seguir.

Um estudo internacional do CIGRE [03] sobre causas de falhas em hidrogeradores examinou 69 incidentes em detalhes e concluiu que as principais causas de falhas podem ser categorizadas na seguinte ordem: falhas no sistema de isolação, defeitos mecânicos, problemas térmicos e por último, falhas devido nos mancais de rolamento. A Figura 1 ilustra essa classificação.

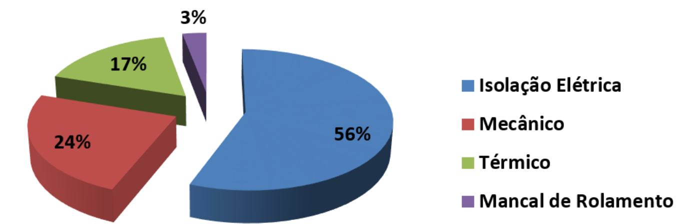


Fig. 1 - Causas raízes de falhas em hidrogeradores.

As falhas no sistema de isolação elétrica foram investigadas com mais detalhes e os resultados são ilustrados na Figura 2.

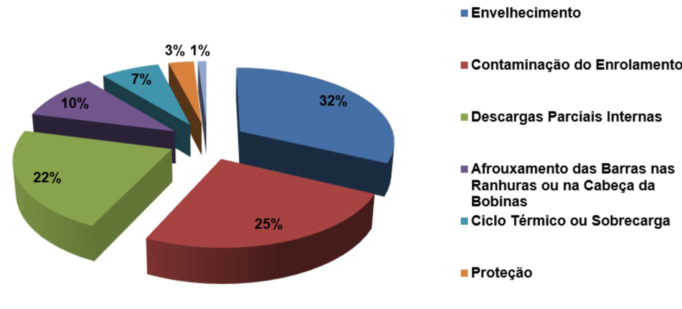


Fig. 2 - Causas de falhas no sistema de isolação elétrica.

As causas mais frequentes de falhas são relativas ao envelhecimento e à contaminação do enrolamento por poeira e umidade. As falhas elétricas foram causadas pelas descargas parciais internas, proteção e sobretensões. Devido à vibração é possível que as barras sofram afrouxamento na sua posição dentro da ranhura na cabeça da bobina.

2 DESCARGAS PARCIAIS NOS ENROLAMENTOS DO ESTATOR

De acordo com [05] as fontes de DPs em hidrogeradores são classificadas em quatro grupos: descargas internas, descargas de ranhura, descargas na cabeça da bobina e descargas por partículas condutivas. A norma [06] dividiu as principais fontes de descargas parciais em três níveis de risco, que são apresentados a seguir:

1. Cavidades internas são de baixo risco, normalmente não levam ao envelhecimento;
2. Descargas na cabeça da bobina e de superfície, por exemplo, devido a contaminação ou partículas condutivas, são de risco médio.
3. Descargas de ranhura e de delaminação no condutor ou internas a isolação são de alto risco.

Segundo [06] a análise de associação à fase das descargas parciais atualmente é considerada umas das metodologias mais eficientes para a identificação das fontes de DPs e foi incorporada aos mais modernos instrumentos de medição de DPs.

Na análise de associação à fase inicialmente supõe-se que a tensão de ensaio ou sistema é constante e os ângulos de fase desta onda são discretizados em faixas. O instrumento de medição de DPs mede a amplitudes da carga aparente (q), relacionadas ao ângulo de fase (φ_i) da tensão de ensaio ou do sistema, durante certo intervalo de tempo. Durante esse intervalo de tempo, os valores das amplitudes são acumulados e podem ser expressos pela razão da taxa de ocorrência (n), esses dados de DPs são classificados como mapas estatísticos das DPs.

A Tabela 1, a seguir, apresenta alguns padrões de mapas estatísticos de descargas parciais extraídos da literatura.

TABELA 1 – PADRÕES DE MAPAS ESTATÍSTICOS DE DESCARGAS PARCIAIS.

Tipos de Descargas			
Descargas Internas	**Descargas de Superfície**	**Descargas de Ranhura**	**Delaminação**

3 MONITORAÇÃO ON-LINE DE DESCARGAS PARCIAIS EM HIDROGERADORES

De acordo com [07] as descargas parciais são acompanhadas por várias manifestações físicas, tais como: pulsos elétricos e pulsos de rádio frequências, perturbações acústicas, luz, assim como reações químicas em gases de resfriamento que podem ser o ar ou o hidrogênio. No entanto, este trabalho tratará apenas dos métodos elétricos de medição de DPs, pois estes métodos são os mais utilizados para avaliação da condição do isolamento dos enrolamentos de máquinas rotativas. A medição elétrica pode ser realizada utilizando sensores de DPs que detecte as componentes dos sinais dos pulsos que se deslocam através dos enrolamentos do estator [05].

3.1 Acoplamento Capacitivo

Conforme [08] o capacitor de acoplamento tem a função de transferir o espectro de alta frequência dos sinais de DPs do enrolamento até o dispositivo de acoplamento, simultaneamente atenua a tensão do sistema para baixas magnitudes. O capacitor de acoplamento deve ser livre de DPs na tensão do sistema e deve possuir baixa indutância para poder transmitir os pulsos de DPs sem oscilações.

O capacitor de acoplamento funciona como um filtro passa alta quando conectado ao enrolamento do estator, e fazendo uma terminação com um resistor, que pode variar de 500 até 2000 Ω. A configuração utilizada na UHE Coaracy Nunes consiste em um acoplador de 220 pF com uma resistência de 2000 Ω. Esta configuração apresenta uma frequência de corte inferior aproximada de 362 Hz, o que significa que sinais abaixo desta frequência serão significativamente atenuados. A Figura 4, a seguir, apresenta os acopladores instalados no barramento de saída do gerador.

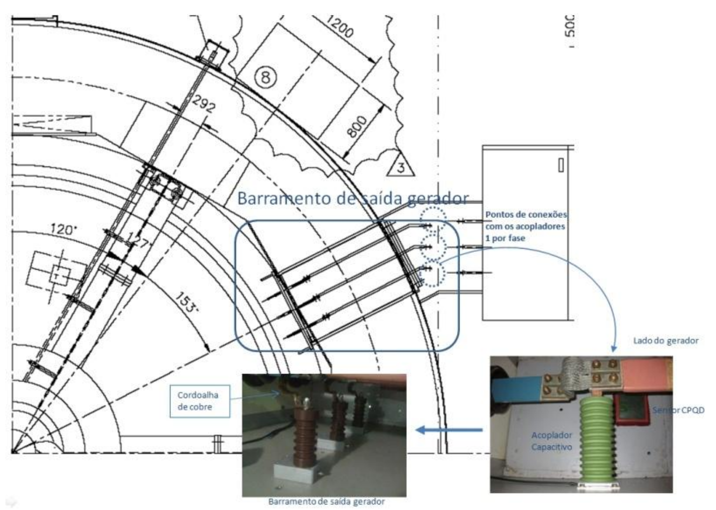


Fig. 4 – Instalação do acoplador no barramento de saída do gerador.

3.2 Sistema de Monitoração de Descargas Parciais (IMA-DP)

A Figura 5, a seguir, apresenta o diagrama do sistema de monitoração instalado na UHE Coaracy Nunes. A instrumentação que compõe o sistema de monitoramento foi desenvolvida numa plataforma comercial de computador industrial padrão PXI, onde está instalado o IMA-DP. Terminal Server é um serviço de computação remota utilizando terminais disseminados pela rede. Neste sistema há um computador servidor para o processamento centralizado, sendo que os computadores desktops conectados a rede funcionam como terminais de acesso. Assim, é possível fazer acesso remoto ao sistema IMA-DP pela rede interna da Eletronorte.

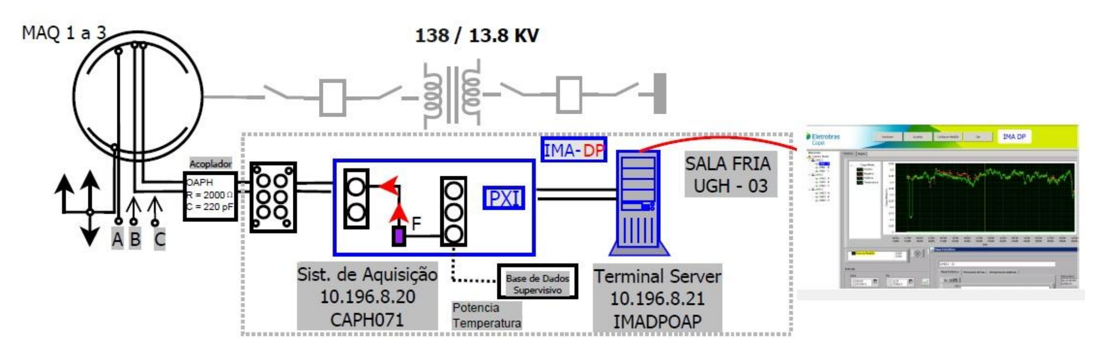


Fig. 5 – Diagrama o sistema de monitoração de descargas parciais.

4 RESULTADOS

Em dezembro de 2009 foi realizada uma campanha de medição de descargas parciais na máquina 03 da UHE Coaracy Nunes, verificou que fase V desta máquina apresentava sinais distintos das demais fases com indícios de descargas parciais, na época não era possível atestar sobre a gravidade do defeito, pois não havia histórico. Optou-se por acompanhar os sinais ao longo do tempo de forma a traçar uma curva de tendência. A Figura 6 apresenta um dos mapas registrados na época, observou-se a formação de um padrão de DPs, e conforme a Tabela 2, este padrão pode ser caracterizado como descargas de superficie.

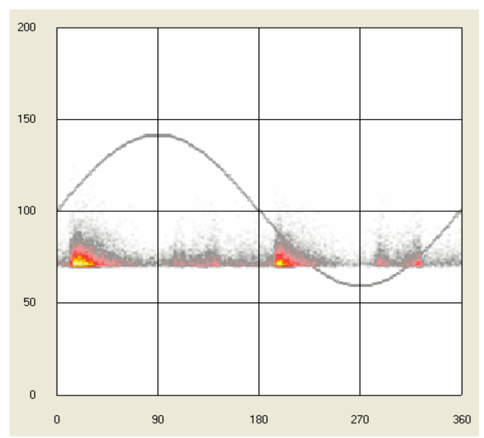


Fig. 6 – Mapa estatístico de descargas parciais registrado na UGH03.

4.1 Inspeção nos Enrolamentos do Estator

Durante a inspeção das bobinas do estator foram identificados pontos de deterioração da superficie das barras na posição entre barra de frente e barra de fundo, na parte inferior do núcleo magnético provavelmente em consequência de efeito corona e possível descargas parciais. As Figuras 7 e 8 apresentam os registros fotográficos desta inspeção.





Fig. 7 - Barra de fundo da ranhura 134 apresenta sinal de aquecimento da pintura de acabamento da superfície provocado possivelmente por efeito corona.

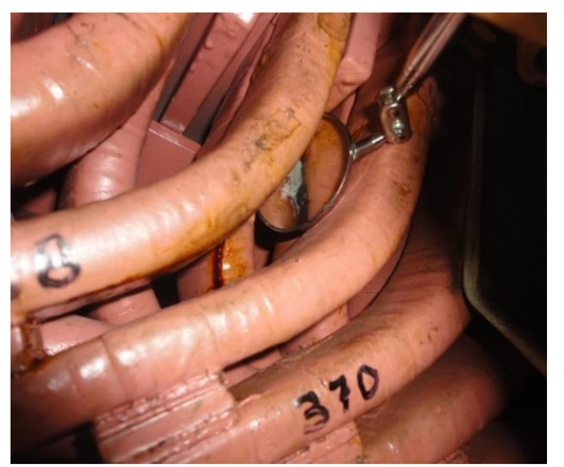




Fig. 8 - Barras da ranhura 214 apresentam vazamento de resina da impreguinação possivelmente por deficiência no processo de cura e a barra de fundo apresente sinal de deterioração da superfície possivelmente por efeito corona ou descargas parciais.

4.2 Intervenção nos Enrolamentos do Estator

Durante uma intervenção na máquina em que houve a necessidade da retirada o rotor, realizou-se o seguinte procedimento nas barras identificadas nas Figuras 7 e 8, a Figura 9 ilustra o trabalho sendo realizado no estator:

- Limpar a região utilizando um pano com Percloretileno ou similar;
- Remover o verniz isolante (cor rosa) em torno do dano sem remover a tinta anti-corona;
- Lixar levemente a região danificada sem remover a tinta anti-corona;
- Limpar a região com um pano seco;
- Pintar sobre a isolação e a proteção anti-corona (cor preta) existente com a tinta anti-corona;
- Após cura da tinta anti-corona, pintar a região danificada com o verniz isolante.

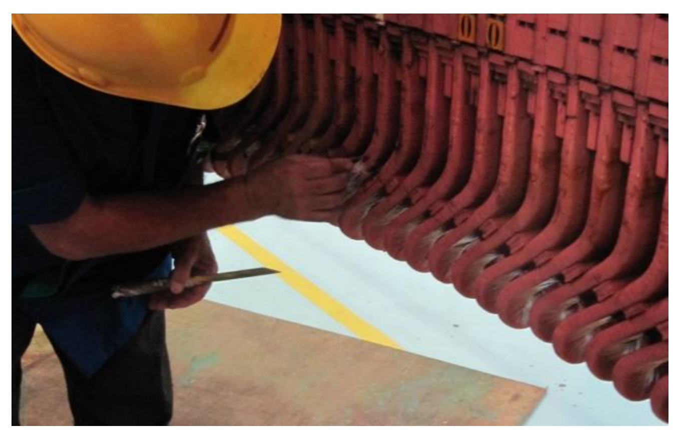


Fig. 9 – Intervenção nos enrolamentos do estator.

4.3 Níveis de Descargas Parciais após a Intervenção

Em junho de 2013, concluiu-se a instalação do sistema de monitoração de descargas parciais, o IMA-DP, na referida unidade geradora, a Figura 10, a seguir apresenta o acompanhamento ao longo do tempo dos níveis de descargas parciais, observa-se uma correlação entre a carga e a variação dos níveis de DPs.

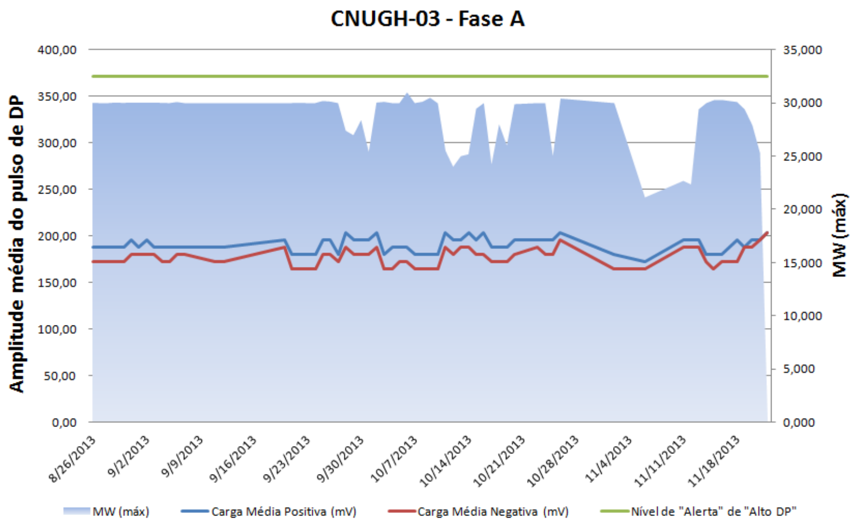


Fig. 10 – Gráfico de acompanhamento dos níveis de DPs.

Já a Figura 11, a seguir, apresenta o mapa estatístico após a intervenção nos enrolamentos do estator, observa-se a presença de poucos sinais de DPs, verifica-se também que não houve a formação de nenhum padrão de descarga conhecido, como apresentado anteriormente na Figura 6.

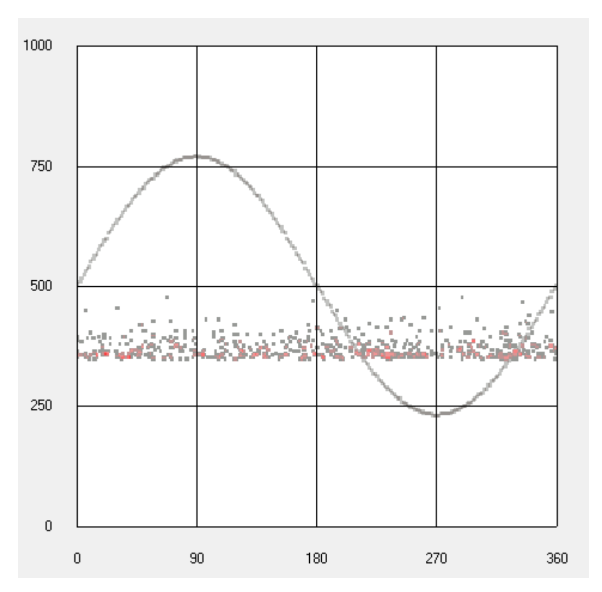


Fig. 11 – Mapa estatístico após a intervenção nos enrolamentos do estator.

A Figura 12, a seguir, apresenta o comportamento das descargas parciais quando ocorre um aumento da Potência Ativa do gerador, já as Figuras 13 e 14 mostra uma correlação dos nívieis de descargas parciais com vibração e a temperatura.



Fig. 12 – (a) Registro do IMADP. (b) Correlação das descargas a potencia ativa da máquina.

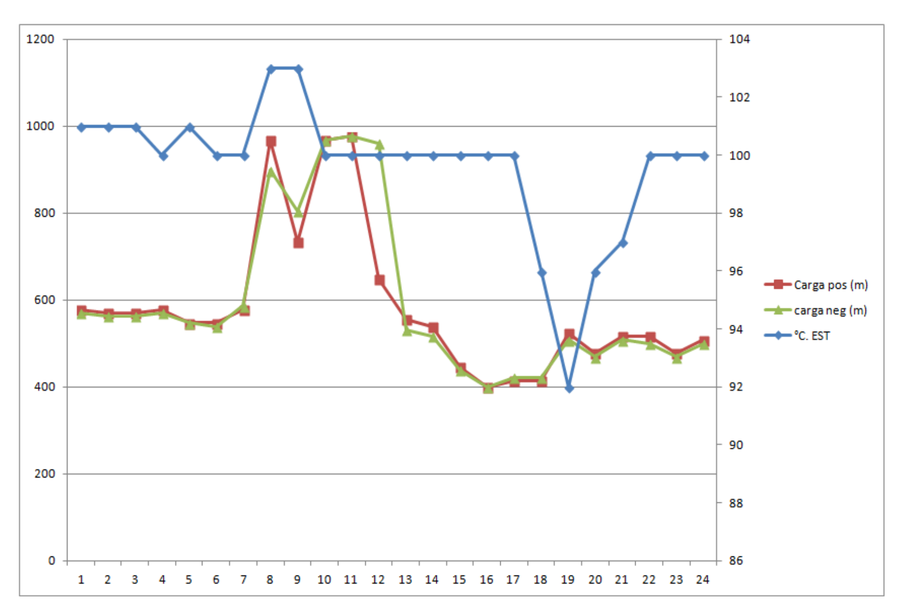


Fig. 13 – Correlação das descargas com a temperatura dos enrolamentos.

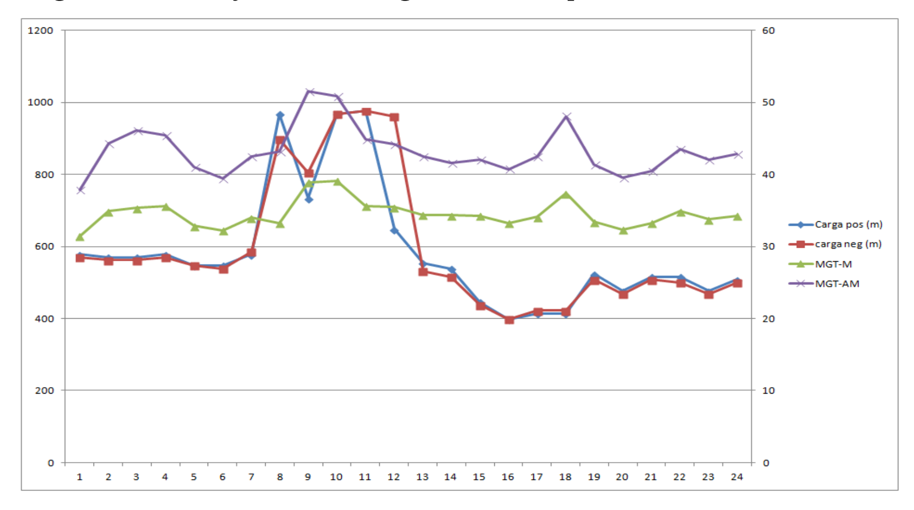


Fig. 14 – Correlação das descargas com níveis de vibração da máquina.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral apresentar os principais resultados da monitoração online de descargas parciais instalado na Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes no Estado do Amapá. Desde 2009 vem se trabalhando no sentido de se implantar a monitoração de DPs nas unidades geradoras desta usina, os primeiros trabalhos tiveram início através de medições esporádicas realizadas em conjunto com Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Eletrobrás Cepel até a instalação definitiva em todas as máquinas, em 2013, de todo o sistema de monitoração de DPs, ou seja, acopladores capacitivos, cabos coaxiais, impedância de medição e computador industrial, o software utilizado para medição foi o IMA-DP, desenvolvido em parceria Eletronorte e Cepel.

Durante uma dessas medições esporádicas, em maio de 2009, constatou-se que a fase V da Unidade Geradora 3 apresentava sinais distintos das demais fases e com indícios de DPs. Foi realizada uma inspeção das bobinas do estator em que foram identificados pontos de deterioração da superficie das barras na posição entre barra de frente e barra de fundo, na parte inferior do núcleo magnético. Provavelmente em consequência de efeito corona e possíveis DPs. Após o devido reparo no estator, realizado pelo fabricante, o sistema de medição constatou que os níveis de DPs estão dentro dos valores aceitáveis e uniformes nas três fases.

Pode-se concluir que a monitoração online de DPs mostrou-se acertiva ao indicar a presença de DPs na fase V da Unidade Geradora 3, e após o devido reparo indicar que os níveis de descargas parciais diminuiram naquela fase e ficando uniforme nas três fase.

Por fim, observou-se que as descargas parciais além de estarem relacionadas com a potência ativa do gerador também apresentam correlação com nível de vibração da máquina, este último tópico ainda está sendo estudado pela equipe que desenvolve essa pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

[1] CUENCA, W.M.H., "Caracterização dos Sinais de Descargas Parciais em Equipamentos de Alta Tensão a Partir de Modelos Experimentais". Tese de Doutorado, Programa Pós-Graduação de Engenharias, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

[2] TAYLOR, N., "Dielectric Response and Partial Discharge Measurements on Stator Insulation at Varied Low Frequency". Tese de Doutorado, School of Electrical Engineering, Suécia, 2010.

[3] CONSEIL INTERNATIONAL DES GRANDS RÉSEAUX ÉLECTRIQUES, "CIGRÉ 392 Survey of Hydrogenerator Failures", Working Group A1.10, 2009.

[4] STONE, G.C., SASIC, M., DUNN, D., CULBERT, I., "Recent Problems Experienced With Motor and Generation Windings", Copyright Material IEEE, No. PCIC-2009-6, 2009.

[5] INTERNACIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION, "IEC 60034-27-2 Rotating Electrical Machines – Part 27-2: On-line Partial Discharges Measurements on the Stator Winding Insulation of Rotating Electrical Machines". Suíça, 2012.

[6] HUDON, C., BÉLEC, M., "Partial Discharges Signal Interpretation for Generator Diagnostics", IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 12, No. 2, 2005, pp. 297-319.

[7] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS, "IEEE Std 1434 Guide to Measurement of Partial Discharge in Rotating Machinery", USA, 2000.

[8] CONSEIL INTERNATIONAL DES GRANDS RÉSEAUX ÉLECTRIQUES, "CIGRÉ 366 Guide for Partial Discharges Measurements in Compliance to IEC 60270". Working Group D1.33, 2008.